



COPY OF PAPERS
ORIGINALLY FILED

2877
7.11.02
Docket No. 1232-4835

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): SUZUKI, et al.

Group Art Unit: 2877

Serial No.: 10/091,985

Examiner:

Filed: March 6, 2002

For: INTERFEROMETER AND INTERFERENCE MEASUREMENT METHOD

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. §1.8(a))

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

I hereby certify that the attached:

1. Claim to Priority Convention
2. Certified copies of two (2) priority documents
3. Return Receipt Postcard

along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, Washington, DC 20231.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

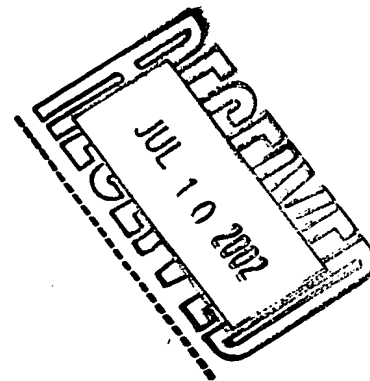
Dated: May 9, 2002

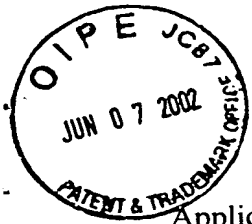
By: Helen Tiger

Helen Tiger

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile





27123
PATENT TRADEMARK OFFICE

COPY OF PAPERS
ORIGINALLY FILED

Docket No. 1232-4835

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): SUZUKI, et al

Group Art Unit: 2877

Serial No.: 10/091,985

Examiner:

Filed: March 6, 2002

For: INTERFEROMETER AND INTERFERENCE MEASUREMENT METHOD

CLAIM TO CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In the matter of the above-identified application and under the provisions of 35 U.S.C. §119 and 37 C.F.R. §1.55, applicant(s) claim(s) the benefit of the following prior application(s):

Application(s) filed in: Japan
In the name of: Canon Kabushiki Kaisha

Serial No(s): 2001-062065
Filing Date(s): March 6, 2001

Serial No(s): 2001-109998
Filing Date(s): April 9, 2001

RECEIVED
JUN 11 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

- ☒ Pursuant to the Claim to Priority, applicant(s) submit(s) a duly certified copy of said foreign application.
- ☐ A duly certified copy of said foreign application is in the file of application Serial No. _____, filed _____.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: May 31, 2002

By: _____

Joseph A. Calvaruso
Joseph A. Calvaruso
Registration No. 28,287

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月 6日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-062065

[ST.10/C]:

[JP 2001-062065]

出 願 人

Applicant(s):

キヤノン株式会社

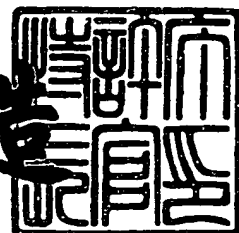
RECEIVED
JUN 11 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2002年 3月29日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



【書類名】 特許願

【整理番号】 4425004

【提出日】 平成13年 3月 6日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 27/00

【発明の名称】 干渉計及び干渉計測法

【請求項の数】 21

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 鈴木 章義

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 関根 義之

【特許出願人】

 【識別番号】 000001007

 【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

 【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

 【識別番号】 100086818

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 高梨 幸雄

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 009623

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703877

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 干渉計及び干渉計測法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、該面形状の測定基準となる波面を生成するアルバレズレンズを有する基準波面生成ユニットを被検光路中に設けていることを特徴とする干渉計。

【請求項 2】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、該面形状の測定基準となる波面を生成する基準波面生成ユニットを被検光路中に設け、前記基準波面生成ユニットは波面の動径の 4 次以上の成分を可変的に生成することを特徴とする干渉計。

【請求項 3】 前記基準波面生成ユニットを構成する各光学部材の基準位置を該基準波面生成ユニットが発生する収差が最も小さくなる位置で決定することを特徴とする請求項 2 記載の干渉計。

【請求項 4】 前記基準波面生成ユニットは球面収差発生手段を有することを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の干渉計。

【請求項 5】 前記球面収差発生手段は複数のレンズ部材を有し、このうち 2 つのレンズ部材間の距離を調整することによって収差の発生を調整していることを特徴とする請求項 4 記載の干渉計。

【請求項 6】 前記球面収差発生手段は平行平面機能として作用する複数の光学部材を有し、該光学部材は平行平面機能を調整することができることを特徴とする請求項 4 記載の干渉計。

【請求項 7】 前記基準波面生成ユニットはアルバレズレンズを有していることを特徴とする請求項 2 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の干渉計。

【請求項 8】 前記アルバレズレンズは波面の動径の 6 次以上の成分を生成することを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

【請求項 9】 前記アルバレズレンズは生成する波面の動径の次数に対応して複数個設けられていることを特徴とする請求項 1 又は 8 記載の干渉計。

【請求項 10】 前記アルバレズレンズは波面の動径の 4 次以上の成分を生成することを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

【請求項 1 1】 前記基準波面生成ユニットは波面の動径の 4 次以上の成分を可變的に生成することを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

【請求項 1 2】 前記基準波面生成ユニットは可變的に波面を生成することができる移動部を有し、該移動部の位置情報をモニタするモニタ手段を有することを特徴とする請求項 2 記載の干渉計。

【請求項 1 3】 前記モニタ手段によって得られる前記移動部の移動量を用いて、発生する波面を計算し、基準波面として用いることを特徴とする請求項 1 2 記載の干渉計。

【請求項 1 4】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計測法において、該面形状の測定基準となる基準波面をアルバレズレンズを有する基準波面生成ユニットにより生成し、該基準波面を該光学素子の面に導光し、該面を介した被検波面と参照波面とを干渉させて面形状の計測を行うこと特徴とする干渉計測法。

【請求項 1 5】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計測法において、該面形状の測定基準となる基準波面を基準波面生成ユニットにより生成し、該基準波面を該光学素子の面に導光し、該面を介した被検波面と参照波面とを干渉させて面形状の計測を行うと共に、前記基準波面生成ユニットは波面の動径の 4 次以上の成分を可變的に生成することを特徴とする干渉計測法。

【請求項 1 6】 前記基準波面生成ユニットを構成する各光学部材の基準位置を該基準波面生成ユニットが発生する収差が最も小さくなる位置で決定することを特徴とする請求項 1 5 記載の干渉計測法。

【請求項 1 7】 前記基準波面生成ユニットは波面の動径の 4 次以上の成分を可變的に生成することを特徴とする請求項 1 4 記載の干渉計測法。

【請求項 1 8】 前記基準波面生成ユニットは可變的に波面を生成することができる移動部を有し、該移動部の位置情報をモニタして得られた移動量をもとに基準波面の形状を計算して求めることを特徴とする請求項 1 5 記載の干渉計測法。

【請求項 1 9】 請求項 1 乃至 1 3 の干渉計を用いて作成された光学素子を用いることによって作成されたことを特徴とする半導体露光装置。

【請求項 2 0】 請求項 1 4 乃至 1 8 のいずれか 1 項の干渉計測法を用いて作成された光学素子を用いることによって作成されたことを特徴とする半導体露光装置。

【請求項 2 1】 参照ミラーからの参照波面と被検面からの被検波面とを干渉させて、該被検面の面情報を測定する干渉計において該被検波面の光路中に、該被検面の面情報の測定基準となる波面を生成する基準波面生成ユニットを配置し、基準波面生成ユニットは球面収差を可變的に発生させる球面収差発生手段と、波面の動径の 6 乗以上の成分を可變的に発生させるアルバレズレンズ手段とを含んでいることを特徴とする干渉計。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は干渉計及び干渉計測法に関し、被検物として球面から非球面にわたる広範囲な面形状に対応し高精度で被検物の面形状を測定する際に好適なものである。

【0 0 0 2】

この他本発明は、マスク上のパターンを感光性の基板に転写し、半導体素子を製造する等のリソグラフィ工程で使用される投影光学系を構成する各光学素子（レンズ、フィルター等）の球面や非球面等の面形状を高精度に測定する際に好適なものである。

【0 0 0 3】

【従来の技術】

光学系におけるイノベーションは常に新しい光学素子、あるいは自由度の導入によってもたらされている。この中で非球面の導入による光学性能の改善は天体望遠鏡の昔から追及されてきた項目の一つであるが、近年、加工法や計測法の改善により、最も精度が要求される半導体素子製造用の半導体露光装置に導入されるところにいたった。

【0 0 0 4】

半導体露光装置における非球面の効果は大きく分けて 3 つある。第一の効果は

光学素子の枚数の削減である。短波長化に伴い半導体露光装置の光学系には石英や蛍石といった高価な材料を使用せざるを得なくなってきた。非球面の効果による光学素子の枚数の削減は製作面及びコスト面で非常に効果大きい。第二の効果はコンパクト化である。非球面の効果として光学系を小型化することが可能となって、やはり製作及びコストに対する影響が無視できないほど大きい。第3の効果は高性能化である。高NA化や、低収差化でますます要求精度の高くなっている光学系の性能を達成する手段として非球面の果たす役割は非常に重要となっている。

【 0 0 0 5 】

また、最近ではパターンの微細化の加速に伴って次世代を担う露光方式としてEUVを用いる方式が本命視されている。EUV (Extreme Ultra Violet) では従来の光露光で用いられてきた光の波長の $1/10$ 以下の 13.4 nm という短い波長の光を用いて、反射結像光学系によりレチクル上の像をウェハーに転写する。EUVの領域では波長が短すぎる為、光が透過する光学部材(透過材料)が存在せず、光学系はレンズを用いないミラーのみの構成となる。しかしながら、EUVの領域では反射材料も限られており、1面あたりのミラーの反射率は70%弱しかない。従って、従来のレンズを用いた光学系の様に20枚を越えるような光学系の構成は光利用効率の面から不可能で、なるべく少ない枚数で所定の性能を満足する結像光学系を構成しなければならない。

【 0 0 0 6 】

現在、EUVの実験機で用いられているのは3枚または4枚構成のミラー系でNAが0.1前後のものであるが、将来的には6枚のミラー系構成でNA0.25から0.30前後のシステムがターゲットとなっている。このような高性能の光学系を少ない枚数で実現する手段として、実際に高精度な非球面を加工し、計測し、所定の面形状の光学素子を得ることが従来技術の壁を打ち破るために必須の技術となってきている。

【 0 0 0 7 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、高性能が得られる設計値が得られても従来の非球面の加工では

非球面の計測精度に限界があり、所定の値以上の非球面量を持った面は加工できないという問題点があった。該所定の値は所望の精度で計測できる範囲によって定められる。よく知られているように、計測と加工は一体のものであり、良い計測精度がなければ精密な加工を行うことは不可能である。

【 0 0 0 8 】

球面形状の計測の技術は光学素子の計測で最も通常に用いられる技術であるため汎用の装置も製品として存在しており、絶えざる精度向上の努力により精度も大幅に向上している。しかしながら測定波長の 1 0 倍以上の大きな非球面量になると干渉縞の間隔が細くなりすぎて球面計測と同じ計測精度を出すことが困難となる。通常、大きな非球面の測定には C G H (Computer Generated Hologram) や専用のヌルレンズを使って所望の非球面の波面を発生させる手段がよく知られている。しかしながらこれら従来の手法では、それらの C G H やヌルレンズの製作精度そのものが半導体露光装置用には十分でないこと、さらに C G H では回折光を用いる配置であるため 0 次光の処理に問題を残すこと等があって、他の用途はともかく、半導体露光装置用の光学系には不十分なことが判明してきた。

【 0 0 0 9 】

また、別の方法として機械的あるいは光学的なプローブを用いて非球面の表面を計測する方法も知られている。しかしながらプローブ法は種々の形状の非球面に対応できるフレキシビリティは備えているものの、プローブ自体の計測限界や、プローブの位置計測の安定性などに問題があり、干渉計測法ほどの精度を出すことが困難である。

【 0 0 1 0 】

本発明は非球面の面形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に適切に対応できる干渉計及び干渉計測法、及びそれを用いられた光学素子を用いた半導体露光装置の提供を目的としている。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 の発明の干渉計は干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、該面形状の測定基準となる波面を生成するアルバレズレンズを有する

基準波面生成ユニットを被検光路中に設けていることを特徴としている。

【 0 0 1 2 】

請求項 2 の発明は干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、該面形状の測定基準となる波面を生成する基準波面生成ユニットを被検光路中に設け、前記基準波面生成ユニットは波面の動径の 4 次以上の成分を可變的に生成することを特徴としている。

【 0 0 1 3 】

請求項 3 の発明は請求項 2 の発明において前記基準波面生成ユニットを構成する各光学部材の基準位置を該基準波面生成ユニットが発生する収差が最も小さくなる位置で決定することを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

請求項 4 の発明は請求項 2 又は 3 の発明において前記基準波面生成ユニットは球面収差発生手段を有することを特徴としている。

【 0 0 1 5 】

請求項 5 の発明は請求項 4 の発明において前記球面収差発生手段は複数のレンズ部材を有し、このうち 2 つのレンズ部材間の距離を調整することによって収差の発生を調整していることを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

請求項 6 の発明は請求項 4 の発明において前記球面収差発生手段は平行平面機能として作用する複数の光学部材を有し、該光学部材は平行平面機能を調整することができることを特徴としている。

【 0 0 1 7 】

請求項 7 の発明は請求項 2 乃至 6 のいずれか 1 項の発明において前記基準波面生成ユニットはアルバレスレンズを有していることを特徴としている。

【 0 0 1 8 】

請求項 8 の発明は請求項 1 の発明において前記アルバレスレンズは波面の動径の 6 次以上の成分を生成することを特徴としている。

【 0 0 1 9 】

請求項 9 の発明は請求項 1 又は 8 の発明において前記アルバレスレンズは生成

する波面の動径の次数に対応して複数個設けられていることを特徴としている。

【 0 0 2 0 】

請求項 1 0 の発明は請求項 1 の発明において前記アルバレズレンズは波面の動径の 4 次以上の成分を生成することを特徴としている。

【 0 0 2 1 】

請求項 1 1 の発明は請求項 1 の発明において前記基準波面生成ユニットは波面の動径の 4 次以上の成分を可変的に生成することを特徴としている。

【 0 0 2 2 】

請求項 1 2 の発明は請求項 2 の発明において前記基準波面生成ユニットは可変的に波面を生成することができる移動部を有し、該移動部の位置情報をモニタするモニタ手段を有することを特徴としている。

【 0 0 2 3 】

請求項 1 3 の発明は請求項 1 2 の発明において前記モニタ手段によって得られる前記移動部の移動量を用いて、発生する波面を計算し、基準波面として用いることを特徴としている。

【 0 0 2 4 】

請求項 1 4 の発明の干渉計測法は干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計測法において、該面形状の測定基準となる基準波面をアルバレズレンズを有する基準波面生成ユニットにより生成し、該基準波面を該光学素子の面に導光し、該面を介した被検波面と参照波面とを干渉させて面形状の計測を行うこと特徴としている。

【 0 0 2 5 】

請求項 1 5 の発明は干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計測法において、該面形状の測定基準となる基準波面を基準波面生成ユニットにより生成し、該基準波面を該光学素子の面に導光し、該面を介した被検波面と参照波面とを干渉させて面形状の計測を行うと共に、前記基準波面生成ユニットは波面の動径の 4 次以上の成分を可変的に生成することを特徴としている。

【 0 0 2 6 】

請求項 1 6 の発明は請求項 1 5 の発明において前記基準波面生成ユニットを構

成する各光学部材の基準位置を該基準波面生成ユニットが発生する収差が最も小さくなる位置で決定することを特徴としている。

【 0 0 2 7 】

請求項 1 7 の発明は請求項 1 4 の発明において前記基準波面生成ユニットは波面の動径の 4 次以上の成分を可變的に生成することを特徴としている。

【 0 0 2 8 】

請求項 1 8 の発明は請求項 1 5 の発明において前記基準波面生成ユニットは可變的に波面を生成することができる移動部を有し、該移動部の位置情報をモニタして得られた移動量をもとに基準波面の形状を計算して求めることを特徴としている。

【 0 0 2 9 】

請求項 1 9 の発明の半導体露光装置は請求項 1 乃至 1 3 の干渉計を用いて作成された光学素子を用いることによって作成されたことを特徴としている。

【 0 0 3 0 】

請求項 2 0 の発明の半導体露光装置は請求項 1 4 乃至 1 8 のいずれか 1 項の干渉計測法を用いて作成された光学素子を用いることによって作成されたことを特徴としている。

【 0 0 3 1 】

請求項 2 1 の発明の干渉計は参照ミラーからの参照波面と被検面からの被検波面とを干渉させて、該被検面の面情報を測定する干渉計において該被検波面の光路中に、該被検面の面情報の測定基準となる波面を生成する基準波面生成ユニットを配置し、基準波面生成ユニットは球面収差を可變的に発生させる球面収差発生手段と、波面の動径の 6 乗以上の成分を可變的に発生させるアルバレズレンズ手段とを含んでいることを特徴としている。

【 0 0 3 2 】

【発明の実施の形態】

通常の球面の面形状を測定する干渉計は精度及び測定再現性などに長足の進歩を見せている。最近では測定再現性で 0. 1 n m に近づこうという精度を見せるまでになっており、E U V 時代の計測装置としても使用出来る位のレベルに達し

ている。

【0033】

これに対し非球面の面形状の計測は非球面自体の要望があったにも拘らず、ヌルレンズ法やCGHを用いる計測方法は、誤差要因が多いと言うことで、精度も要求を満たしていなかった。本発明の実施形態はこの球面と非球面との乖離をなくすことを特徴としている。このため、本発明の実施形態では精度上の達成値を球面波にすることを目標として、球面計測用の光学配置を基礎に非球面を計測する構成を用いている。

【0034】

最近の半導体製造装置における高精度な駆動の実現、及び計算機の発達は基準位置の収差さえははっきりしておれば、該基準位置からオープンループで各エレメントを駆動した後に発生する収差を正確に知ることを可能にしている。本発明は、これらの点を考慮し、非球面が球面からのずれと言う形で定義される以上、該非球面を収差とみなし、該収差量を収差発生光学系(基準波面発生ユニット)で発生させて所望の非球面形状を持つ波面を発生させる構成を用いている。

【0035】

即ち、本発明の実施形態では非球面の波面を正確に合成して作成していくことを特徴としている。

【0036】

次に本発明の各実施形態を各図とともに説明する。

【0037】

図1は本発明の実施形態1の要部概略図であり、被検面の非球面の面情報の測定法を示している。被検面の面形状を測定するための干渉計は公知のトワイマン・グリーン干渉計といわれる構成をとっている。図1は不図示のレーザ光源からコリメートされた(平行にされた)光Laが干渉計に入るところから図示している。レーザ光源としてはHeNe、Ar、HeCd、YAGの高調波など公知のレーザを用いることができる。

【0038】

図1においてコリメートされてきた光は先ずビームスプリッタ1で波面が反射

光(参照光)と透過光(信号光)の2つに分割される。同図は参照光として参照ミラー2へ行く光路(参照光路)と、物体(被検面)5側へ行く光路(被検光路)とに分割されている。参照光路に行った光は参照ミラー2で反射して再びビームスプリッタ1に戻っていく。高精度な計測精度を得るためには位相計測をすることが必須となるのでPMI (Phase Measuring Interferometer) と言われる手法が適用される。例えば図1の構成では参照ミラー2が波長オーダで光軸方向(矢印)に微小駆動される例が示されている。参照ミラー部2の構成は従来の干渉計と同一である。

【 0 0 3 9 】

被検面5(物体)側に行く光路が本発明の中核をなす部分である。ビームスプリッタ1を通過した光束は次いで被検面5の測定基準となる波面を生成する基準波面発生ユニット3に入射する。基準波面発生ユニット3の構成は種々考えられるが、図1の構成では主として波面の動径Rの4乗に対応する波面を基準波面発生ユニット3の中にある球面収差発生手段としての光学系(光学部材)の光軸方向の位置を調整することによって球面収差を発生させることによって発生し、それ以上の高次の波面はアルバレズレンズ(アルバレズレンズ手段)と言われる光軸0aに対して直交方向に光学素子を動かすことによって発生させている。

【 0 0 4 0 】

アルバレズレンズ31の構成の説明は後述することとして、ここでは先ず球面収差の発生法について説明する。図中、32は第1のレンズ、33は第2のレンズである。レンズ32は図1の構成ではビームスプリッタ1から入射してくる平行光を点Aに結像する作用をする。レンズ32は軸上0a付近のごく小さい範囲だけ収差を補正しておけばよいので、収差量をきわめて小さく抑えることができる。

【 0 0 4 1 】

またたとえレンズ32の収差が微小量のこっていても、微小量であるためオフセット処理でキャンセルすることが容易である。以降の説明ではレンズ32の収差は無視することができるとして話を進める。

【 0 0 4 2 】

レンズ 3 3 は有限物点に対して収差の良く補正されたレンズである。例えば顕微鏡の対物レンズ等が適用でき、所定の物像位置関係で収差が良く補正されている。該レンズ 3 3 の結像は従って、所定の関係から外れた位置設定になっていると収差を多く発生する。干渉計の光学配置では軸上しか使用しないので、所定の関係からずれて発生する収差は光軸に関し回転対称な収差、即ち球面収差となる。従ってレンズ 3 2 によって形成される結像点 A の位置がレンズ 3 3 の収差が補正されるべき物点の位置と一致しておれば、レンズ 3 3 を通過後に形成される結像位置における収差は極めてよく補正されている。図中 B で示されている点は後続のコリメータ（コリメーターレンズ）4 の収差が最もよく補正されている位置である。点 B の位置が点 A のレンズ 3 3 による結像位置に合致すると、図 1 を構成する総ての光学要素が最も収差の小さくなる状態で配置されたことになる。このようにレンズ 3 2、3 3、コリメータ 4 が収差の最も良く補正される状態となった時、図 1 の干渉計は「基準状態」に配置されていると定義する。

【 0 0 4 3 】

基準状態についての記述を先に進めると、レンズ 3 3 によって点 B に結像した光は次いでコリメータ 4 に入射し、コリメータ 4 によって発散波を収束波に変換されて被検物体 5 に向かう。コリメータ 4 は結像点 B に対して収差補正されている光学系であるため、収束波は収差のない（収差の極めて少ない）波面となって被検物体 5 に向かう。即ち基準状態は被検面として球面の測定を行うのに適した配置となっている。基準状態で被検物体として予め素性のわかっている基準球面を配置すればレンズ 3 2 からコリメータ 4 にいたる測定光学系の収差のオフセットを求めることができる。即ち、基準状態は被検面として球面の測定に適した状態であり、なおかつ測定系のオフセットをとる役割を果たす。なお、オフセットの取り方については“Optical Shop Testing”（Malacara 編）等に詳しいので、ここでは詳述しない。

【 0 0 4 4 】

次いで被検面として非球面の測定について説明する。本発明者が測定対象となる非球面の形状を分析したところ、非球面の形状は回転対称型の光学系の場合、波面の動径 R の 4 乗、6 乗、8 乗、10 乗、…の順番に低次から近似を行ってい

くことが効率的なことが判明した。従って、基準波面を作る際、測定できる範囲内に入るまで波面の動径 R の4乗、6乗、8乗、10乗、…の順番に低次から波面を合成していくのが本発明の特徴である。更に本発明では種々の非球面形状に対応するため、波面の動径 R の4乗、6乗、8乗、10乗、…の発生量が可変となっているのが特徴である。

【0045】

図1の実施形態1では非球面の最も低次である波面の動径 R の4乗の項を球面収差で発生させる構成となっている。球面収差の発生は以下の手順で行われる。レンズ33は前に説明したように、レンズ32の結像点 A が所定の物点位置に来た時のみ B 点での収差が補正される。従って、レンズ32を光軸方向に動かして点 A の位置をレンズ33の収差が取れる位置からずらすと、結像点の位置は点 B からずれて、しかも球面収差が発生したものとなる。

【0046】

この間の様子を示したのが図2である。図2(A)はレンズ33の収差が補正されるレンズ配置で、レンズ32によって形成される結像位置点 A がレンズ33の収差の取れている点33 p に結像し、レンズ33により点33 q に結像している。基準状態では点33 q がコリメータ4の収差の補正されている物点位置 B に一致している。次いでレンズ32を光軸方向右に動かすことによって結像位置 A を点33 p 1の位置にずらす。ずらした結果、レンズ33による点33 p 1の結像位置は点33 q 1に移動する。点33 p 1と点33 q 1は収差の取れた関係からずれているので球面収差が発生している。本実施形態はこの球面収差を非球面(被検面)の基準波面に利用している。コリメータ4との関係からレンズ32とレンズ33を一体として光軸方向左側に移動すれば、レンズ33による結像位置を球面収差が発生した状態を保ったままで点 B に一致させることができる。ここで一体として移動できるのはレンズ32に入射する光束が平行光束であることによる。

【0047】

基準波面発生ユニット3からの球面収差の発生量は点 A の結像点の移動量及び、移動方向で量及び符号の双方をコントロールすることができる。従って、波面

の動径 R の 4 乗の項は可変量として扱うことができる。本実施形態で目的の 1 つとするのはオングストロームオーダーまでの測定精度が可能な高精度な測定である。厳密にいうとレンズ 3 2, 3 3 の位置調整によって発生する収差は波面の動径 R の 4 乗の項だけではないが、レンズ 3 2, 3 3 の光軸方向の位置さえ精密にわかっていれば、その値をコンピュータで計算することにより、高次の項まで正確に発生する収差を計算することができる。計算された値は高次項も含め、基準波面の値として用いられる。

【 0 0 4 8 】

図 1 の系ではレンズ 3 2 の光軸方向の位置検出を行うために、レンズ 3 2 の鏡筒の位置をモニタするモニタ手段としてのレーザ干渉計 1 0 1 を用いている。具体的にはレンズ 3 2 の鏡筒を移動させる機械部品 3 2 - 1 の位置をモニタする為にレーザ干渉計 1 0 1 からの光 3 2 - 2 が入射している。レーザ干渉計の代わりにマグネスケールやエンコーダ等の位置検出素子を使うことも可能で、該モニタ機能を用いて計算を行うことにより発生する収差量を正確に知ることができる。

【 0 0 4 9 】

一方、レーザ干渉計でモニタできるのはあくまでレンズ 3 2 の相対変位量なので、基準となる位置は別途決定する必要がある。基準となる位置を決定するためには前述の「基準状態」を利用する。光学系を基準状態におき、被検物体位置に素性のわかっている基準球面を置く、この状態で収差が予め分かっている基準球面のデータに最も近くなるようにレンズ 3 2, 3 3、コリメータ 4、基準球面の位置を調整する。調整した後にある許容値以内に入った状態で、レンズ 3 2, 3 3、コリメータ 4 の位置調整を終了する。この位置が位置検出素子（レーザ干渉計 1 0 1）の基準位置となる。該基準位置からの駆動量を与える収差の発生量は、駆動量の測定精度から定まる精度で正確に計算することができる。レーザ干渉計 1 0 1 を用いれば駆動精度はナノメートルオーダーまで可能であるため、発生する収差の値を知るには十分な精度である。

【 0 0 5 0 】

図 1 はレンズ 3 2 の光軸上の位置を検出するのを示しているがその他の光学素子 3 3, 4 などについても同様に位置を検出する手段が配置されている。

【0051】

実際の非球面はこのような波面の動径Rの4乗の項のみで表わしきれぬものではなく、より高次の項の導入も必要である。これまで説明してきた光学素子32, 33, 4の位置調整で発生する収差は波面の動径Rの4乗を主とした発生パターンであった。位置調整だけで波面の動径Rの6乗以上の高次の収差を自由に制御し、非球面の基準波面とすることは困難である。

【0052】

本実施形態では実際の非球面に存在する高次の形状を有する収差を発生させるため、図3に示すアルバレズレンズ31を利用することを特徴としている。アルバレズレンズ31は図3に示すように同一形状の2枚組のレンズ31a1, 31a2で、 $f(x, y)$ で示される非球面形状をした面が対抗して近接して配置されたものである。2枚のレンズ31a1, 31a2のxy面内における相対ずれがゼロである場合には、アルバレズレンズ31は平行平板と同じ働きをする。 $f(x, y)$ の形を適当に選択すれば2枚のレンズ31a1, 31a2の一方を光軸0a方向と垂直のy方向に Δ 、他方を $-\Delta$ 駆動することにより高次の収差を自由に発生させることができる。例えばy方向にずらして6乗の特性を出すアルバレズレンズの形状 $f(x, y)$ は

$$f(x, y) = a(x^6y + y^7/7)$$

とすると、互いに $\pm\Delta$ だけy方向にずれたアルバレズレンズの透過波面 $W(x, y)$ は、硝材の屈折率をnとすると

$$W(x, y) \cong 2a\Delta(n-1)(x^6 + y^6)$$

となり、ずらし量 Δ に比例した波面を形成させることができる。ずらし量 Δ を説明したようにプラスとマイナスに対称に構成すると、ずらし量 Δ の偶数次の項が消えてずらし量 Δ の非線形の効果を抑えることができる。発生する収差の量はずらし量 Δ を制御することによって調整することができる。

【0053】

アルバレズレンズ31を特徴付ける非球面形状 $f(x, y)$ を理想的に作ることは難しいため、製作誤差をキャリブレーションする必要がある。キャリブレーションの際には球面収差の場合と同じく基準状態と素性のわかっている基準面を

用いて、測定を行いオフセット量を計算する。オフセット量は $f(x, y)$ の誤差、ずれ量 Δ から発生する非線形効果等も含めて補正する。またアルバレズレンズの位置は位置検出素子を各アルバレズレンズに装着して検出を行う。

【 0 0 5 4 】

ここで説明したのは波面の動径 R の 6 乗の項の説明であったが、更に 8 乗の項、10 乗の項も別のアルバレズレンズを複数個挿入することによって制御することができる。挿入すべきアルバレズレンズの数是对象となる非球面の形状によって異なる。図 1 の系では 3 1 a が 6 乗、3 1 b が 8 乗の項を発生させるアルバレズレンズに対応している。

【 0 0 5 5 】

本実施形態では以上の構成により参照ミラー 2 を介した参照波面と、基準波面発生ユニット 3、コソメーター 4 を通過し、被検面 5 で反射し、元の光路を戻った被検波面(信号波面)と、をビームスプリッター 1 で合成し、レンズ 6 によって CCD 等の撮像手段上に干渉波面を形成し、該撮像手段 7 からの信号(干渉信号)によって被検面 5 の面形状(面情報)を測定している。

【 0 0 5 6 】

以上のように本実施形態の干渉計は任意の形状の非球面の面形状を CGH やヌルレンズのような素子を設けることなく汎用で検出できることのできるようにしている。このため非球面の面形状測定用の基準波面を光学系(基準波面発生ユニット)の収差をコントロールすることによって発生させている。

【 0 0 5 7 】

また、本実施形態では非球面の面形状の計測の基準となる基準波面を、該非球面を特徴づける非球面形状の各次数を独立に制御して作り上げている。対象となる光学系は共軸であることが多いところから、光学素子は回転対称性を持っていることが多い。従って球面からのずれは光軸からの距離(即ち波面の動径)を R とした時、 R の 4 乗以上の偶数次の項で表わされる場合が通常である。

【 0 0 5 8 】

特に重要なのは R の 4 乗の項であるが、4 乗の項は収差で言うと球面収差に相当する。そこで球面収差を故意に所望の値だけ発生させて、非球面の形状が持つ

ている成分に対応する波面を形成させている。但し、一般に非球面は R の4乗だけでは表わすことができない場合が多いため、4乗以上の高次の項に関しては各次数ごとにアルバレスレンズを利用して制御できる収差を発生させ、所望の非球面を構成する波面を合成させている。また、アルバレスレンズで4次以上の総ての波面を発生させることも可能である。

【 0 0 5 9 】

本実施形態では波面を調整して合成するため、種々の基準波面を作成することができ、非球面の形状ごとにCGHやヌルレンズを作成すると言う手間から開放される。従って、装置自体を基準として様々な非球面を測定することができるために、極めて汎用性を持つ装置を構成することができるというメリットがある。また、汎用性があるにも拘らず干渉計測法であるために球面を測定するのと同じ精度が達成できるため、従来の高精度で測定することが困難であった非球面を容易に測定することができる。

【 0 0 6 0 】

図4は本発明の実施形態2の要部概略図である。本実施形態は図1の実施形態1に比べて、基準波面発生ユニット3による球面収差の発生の仕方が異なっている。この他の構成は実施形態1と同じである。

【 0 0 6 1 】

本実施形態では基準波面発生ユニット3内のレンズ133が平行光入射に対して収差を発生させる機能を持っている。図5(A)はレンズ133を構成する2つのレンズ133a, 133bの間隔 d を制御することによって球面収差の発生量を制御する方式である。間隔 d の変化に伴う結像位置の変化はレンズ131全体を移動することによって調整する。また間隔 d の基準位置は実施形態1と同じくレンズ133とコリメータ4、基準球面を用いて、同じような基準状態を求めることによって行う。

【 0 0 6 2 】

図5(B)はレンズ133の後側の位置に厚さを連続的に変えることのできる全体として平行平板となる楔形の2つのプリズム部材(ウエッジ)134, 135を挿入した例、図5(C)は複数の平行平板136, 137を離散的に変え

て球面収差を制御する例である。平行平板の厚さを可変にするには2枚の同じ角度を持つウェッジ134, 135を組み合わせ、光軸0aと直交する方向に動かすことによって目的を達成することができる。この場合の基準位置の調整も実施形態1と同じく基準状態をいったん達成することによって求めることができる。図5(C)の平行平板の場合には該平板の厚さを正確に測定することを利用して、発生する球面収差を求めることができる。

【0063】

図6は本発明の実施形態3の要部概略図である。

【0064】

本実施形態は図1の実施形態1に比べて、基準波面発生ユニット3による収差発生を全てアルバレズレンズに負担させている点が異なっている。

【0065】

この他の構成は実施形態1と同じである。

【0066】

本実施形態ではレンズ233が平行光を収差なく結像させる機能を持っている。図中、アルバレズレンズ31pが波面の動径Rの4乗に比例する球面収差の発生量を制御する。アルバレズレンズの基準位置は実施形態1と同じくレンズ233とコリメータ4、基準球面を用いて、同じような基準状態を実現した上でアルバレズレンズを挿入していったオフセットを求めることができる。

【0067】

この他のアルバレズレンズ31a, 31bの作用は実施形態1と同じである。

【0068】

以上の各実施形態の干渉計のうちの1つを用いて作成された光学素子を第1の物体(レチクル)上に形成されたパターンを第2の物体(ウエハ)上に結像させて露光する投影露光装置における投影光学系に用いている。

【0069】

これによって高い光学性能の投影光学系の製造を容易にしている。

【0070】

以上述べたように本発明の各実施形態では波面を調整して合成するため、種々

の基準波面を容易に作成することができ、非球面の形状ごとにCGHやヌルレンズを作成する必要がない。また、装置自体が基準となるため、原器として装置を使うことができる。更に本発明の各実施形態では基準として発生させる波面を高精度に可変制御できるため、様々な非球面を測定に対応することができ、極めて汎用性が高い。汎用性があるにも拘らず干渉計測法であるために球面を測定するのと同じ精度が達成できるため、従来高精度で測定することが困難であった非球面も容易に測定することができる。

【 0 0 7 1 】

又、本発明の各実施形態によれば、従来より設計値としては存在したが実際には加工が困難であった非球面光学素子も容易に製作することができる。特にEUVのように精度が厳しい上に、使うことのできる枚数が限られている光学系で、従来より実際には加工計測上の観点から適用することのできなかつた範囲にある非球面を持つ光学素子を利用できる、装置構成上多大なメリットが得られる。又、本発明の各実施形態はEUVだけでなく従来のUV、DUV、VUV領域の露光装置における非球面にも適用することができる。非球面を用いることにより光学系のフレキシビリティが増したことで、半導体露光装置に対して大きな効果をもたらすことができる。

また、本発明による非球面の応用は半導体露光装置だけでなく、他の光学装置にも同様に適用することができる。

【 0 0 7 2 】

又、本発明の各実施形態による非球面計測で得られる光学素子の応用は半導体露光装置だけでなく、他の光学装置にも同様に適用することができる。

【 0 0 7 3 】

【発明の効果】

本発明によれば非球面の面形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に適切に対応できる干渉計及び干渉計測法を達成することができる。

【 0 0 7 4 】

この他本発明によればレチクル上のパターンを所定の倍率(縮小率)で性格にウ

エハー上に結像性能が良く、収差を抑えた状態で転写する投影レンズ(投影光学系)に用いる光学素子の面形状を計測し、高精度な投影光学系を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施形態 1 の非球面測定を示す概略図

【図 2】 球面収差の発生を示す図

【図 3】 アルバレズレンズの原理図

【図 4】 本発明の実施形態 2 の非球面測定を示す概略図

【図 5】 種々の球面収差発生法を示す説明図

【図 6】 本発明の実施形態 3 の非球面測定を示す概略図

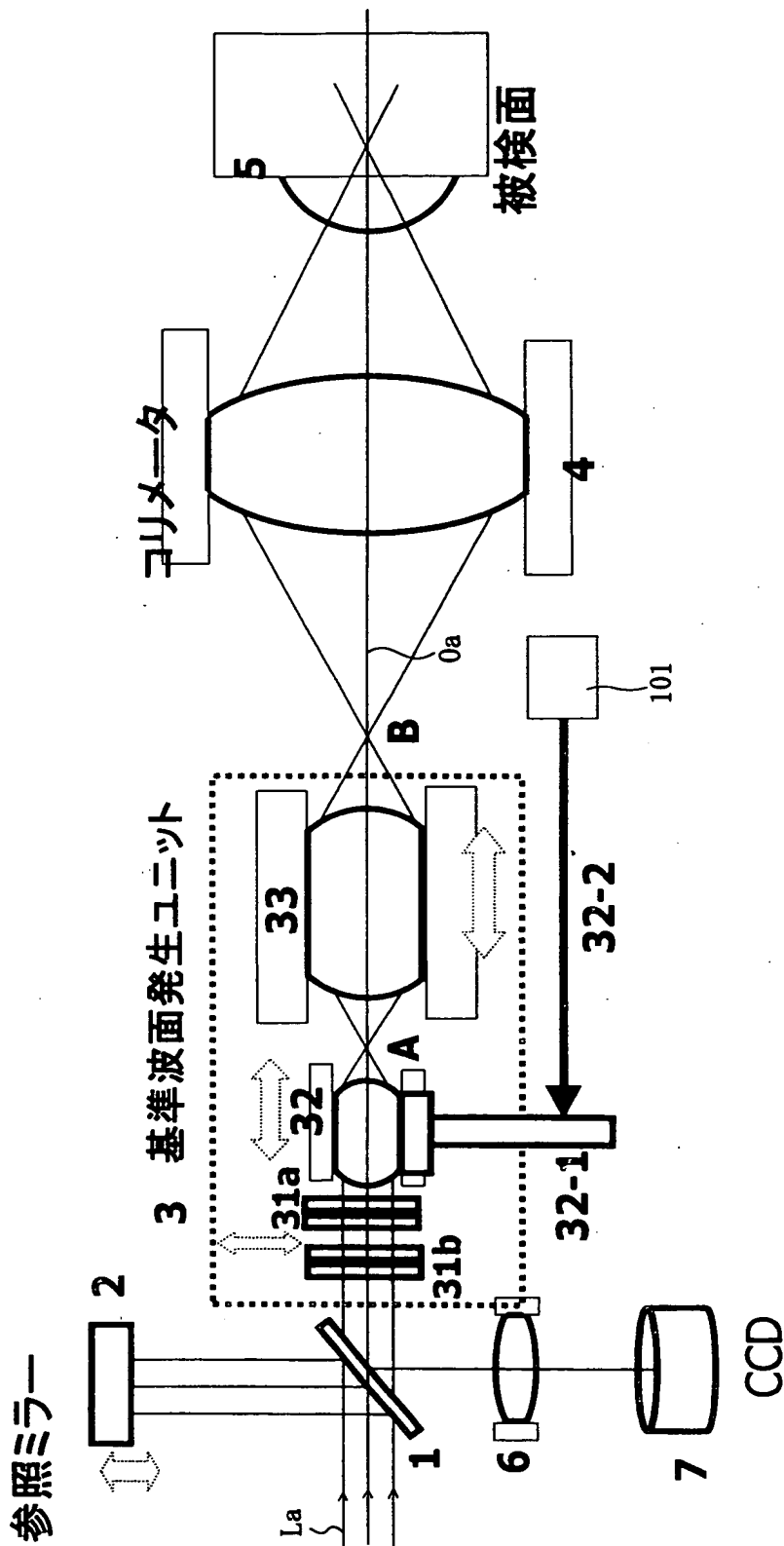
【符号の説明】

- 1 ビームスプリッタ
- 2 参照ミラー
- 3 基準波面発生ユニット
- 4 コリメータ
- 5 被検物体
- 6 結像レンズ
- 7 CCD
- 31 (31a, 31b, 31c) アルバレズレンズ
- 32 レンズ
- 33 レンズ

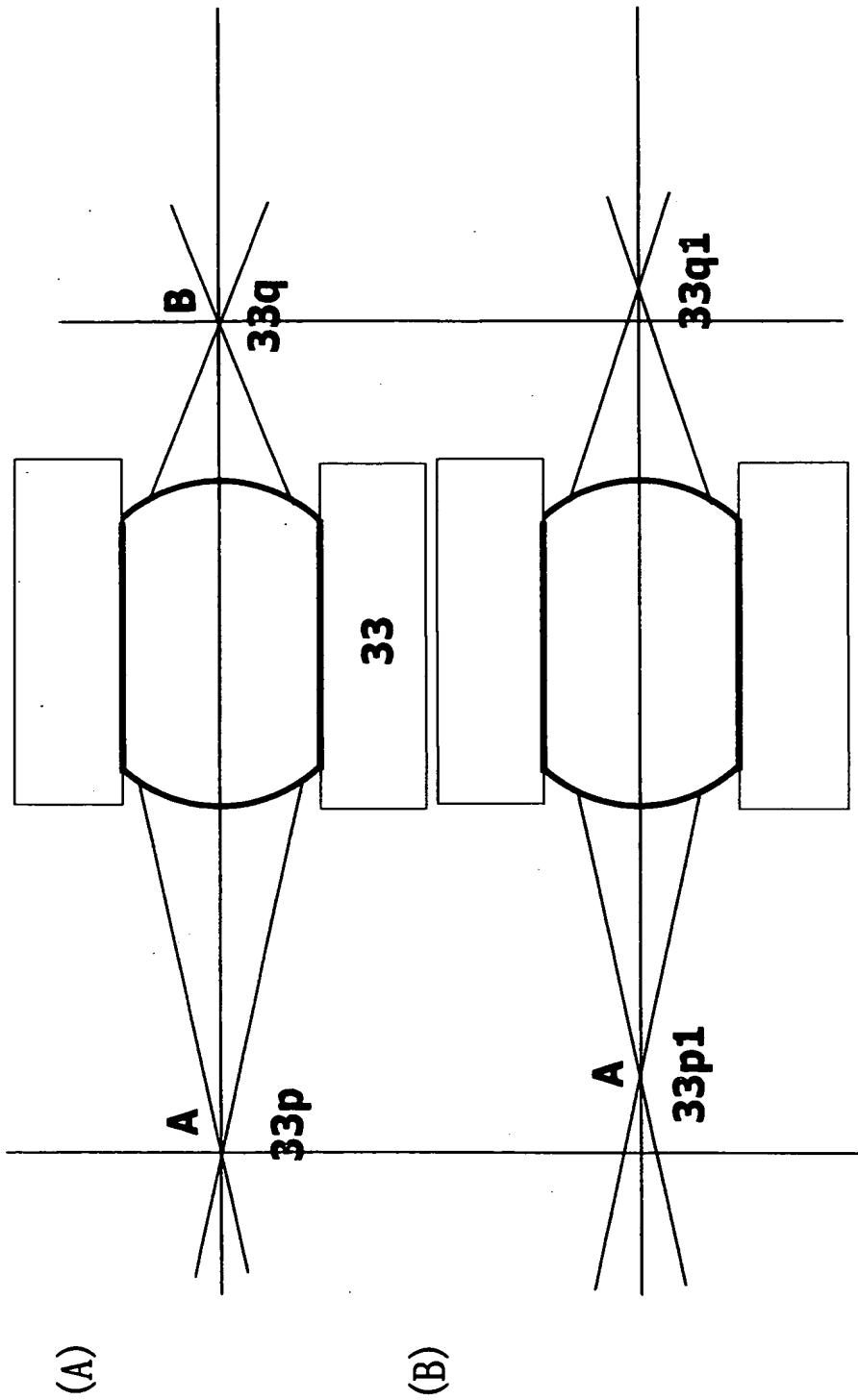
【書類名】

図面

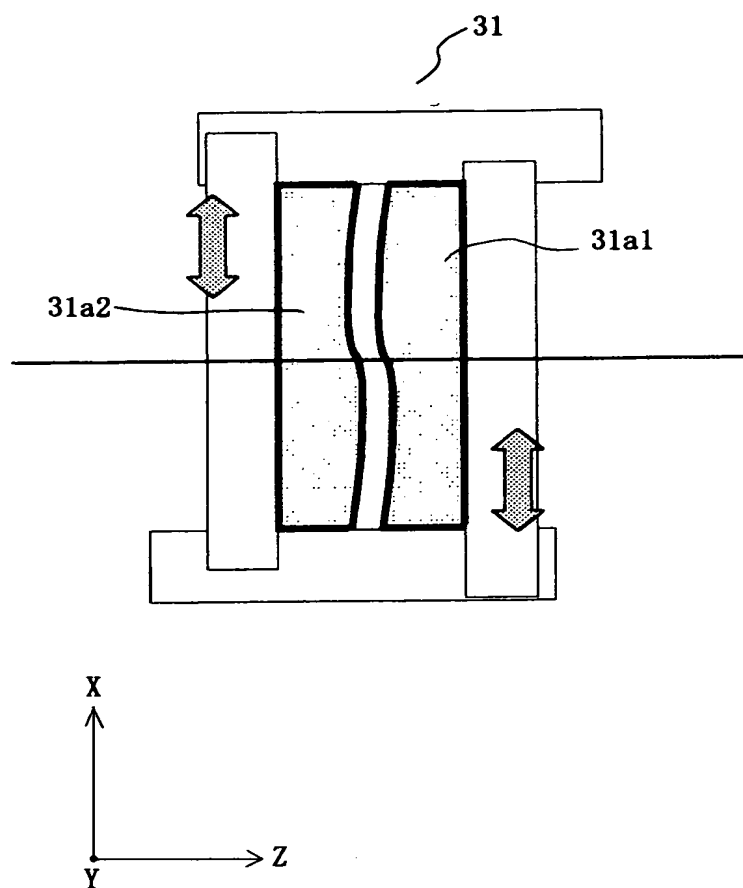
【図 1】



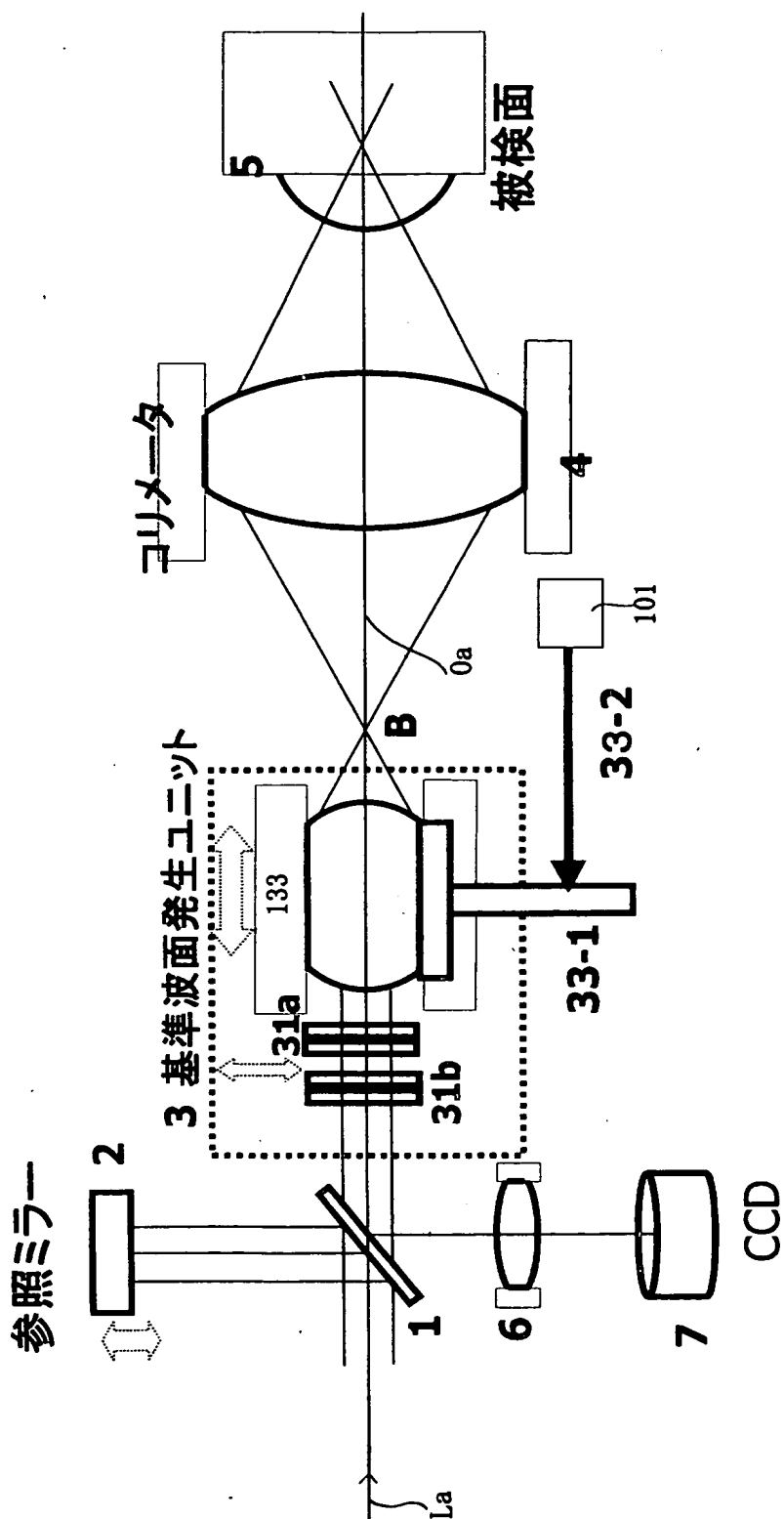
【図 2】



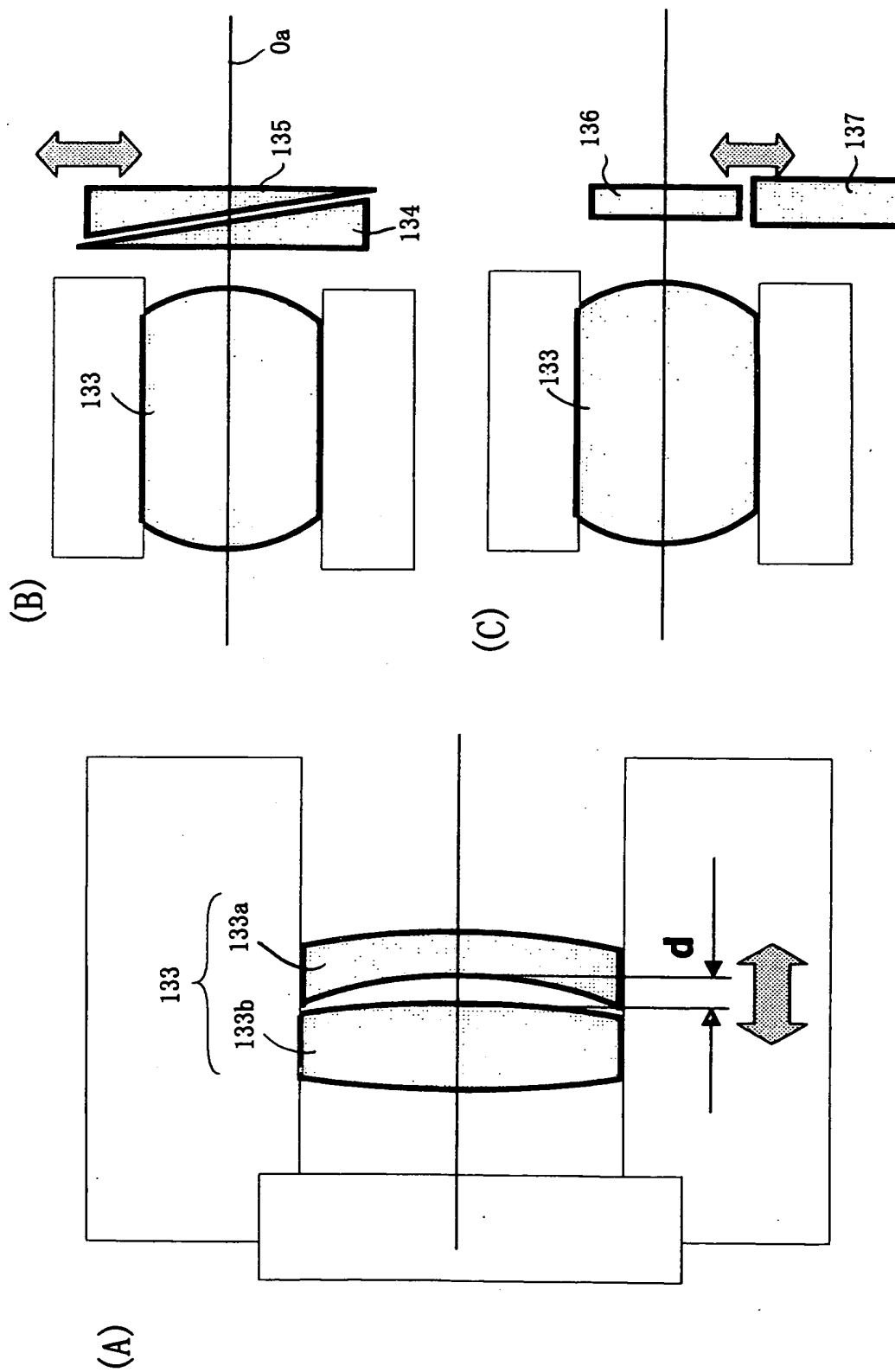
【図 3】



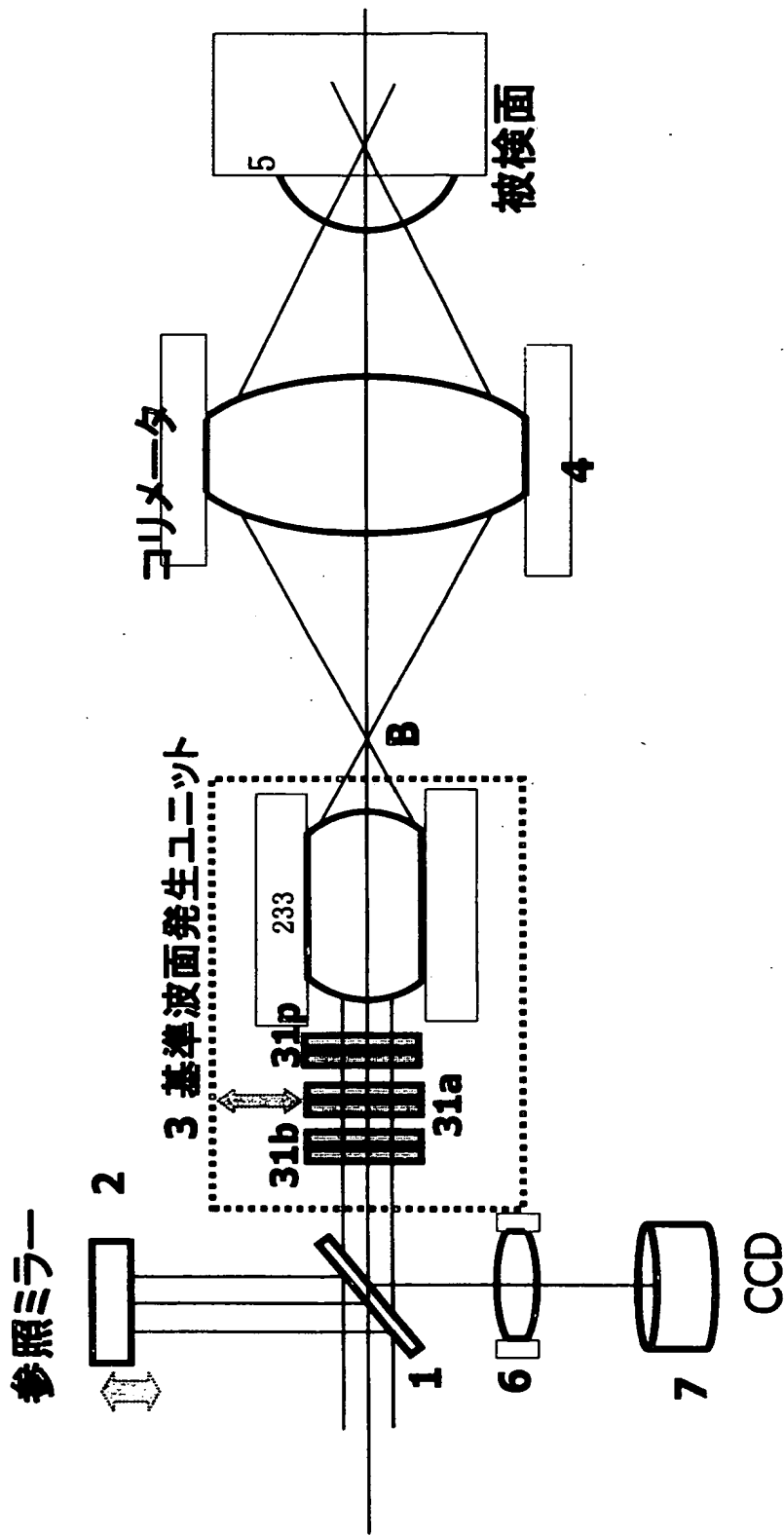
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 非球面の面形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に対応できる干渉計及び干渉計測法を得ること

【解決手段】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、該面形状の測定基準となる波面を生成する基準波面生成ユニットを被検光路中に設けている

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名 キヤノン株式会社